

УДК 621.314

DOI 10.22213/2413-1172-2017-3-114-117

И. И. Зайцев, магистрант, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

В. Н. Сяктерев, кандидат технических наук, доцент, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

В. В. Сяктерева, кандидат технических наук, доцент, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ И ИССЛЕДОВАНИЕ МАКЕТА АКТИВНОГО ВЫПРЯМИТЕЛЯ НАПРЯЖЕНИЯ В СОСТАВЕ ЧАСТОТНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ СИСТЕМ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ ПОГРУЖНЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

Проблема обеспечения качества потребляемой электроэнергии является актуальной в современной нефтедобывающей отрасли в системах энергоснабжения погружных электродвигателей. Применение активного выпрямителя напряжения (АВН) в составе частотных преобразователей позволяет снизить уровень высших гармонических составляющих тока и напряжения в питающей сети, повысить коэффициент мощности, а также обеспечить двусторонний обмен энергией с сетью [1].

Целью разработки является исследование модели и макета активного выпрямителя напряжения для повышения энергетической эффективности преобразователя частоты станций управления погружными электродвигателями путем принудительного формирования потребляемого тока. Наиболее известная модель [2] реализуемой векторной системы управления активным выпрямителем с преобразованием координат приведена на рис. 1.

Реализуемая модель активного выпрямителя, представленная на рис. 1, состоит из следующих функциональных блоков:

PI – блоки пропорционально-интегральных регуляторов, необходимы для устранения ошибки рассогласования параметров управления;

блок преобразования abc/dq – перевод сигналов из трехфазной системы координат в двухфазную вращающуюся систему координат dq ;

блок преобразования $dq/\alpha\beta$ – перевод сигналов из двухфазной вращающейся dq системы в двухфазную стационарную систему $\alpha\beta$;

блок PWM – модуль вычисления сигналов ШИМ для управления драйверами силовых ключей.

Управление обобщенным вектором сетевого тока осуществляется во вращающейся ортогональной системе координат dq , отдельно по проекциям активной и реактивной составляющей вектора тока [3]. Для синхронизации с частотой и фазой первой гармоники сетевого напряжения используется сигнал γ_{ul} , формируемый модулем фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ). Введение ФАПЧ необходимо для устранения влияния нестабильности частоты сетевого напряжения на работу системы управления.

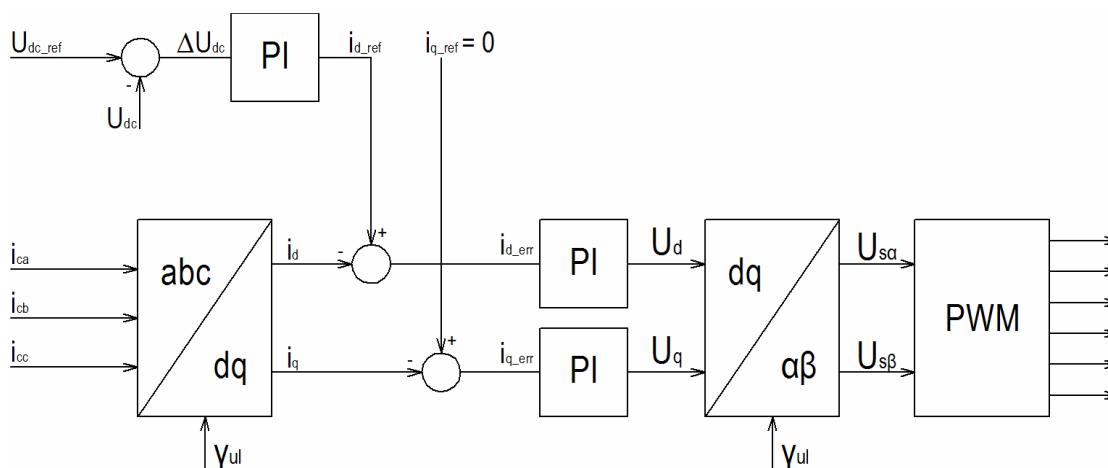


Рис. 1. Модель системы управления активным выпрямителем

Структура разработанного макета АВН представлена на рис. 2. Основа силовой части – серийно выпускаемый ООО «ИРЗ ТЭК» преобразователь частоты, входящий в состав станции управления погружными электродвигателями с частотным преобразованием серии ИРЗ-500, доработанный путем

подключения датчиков напряжения и сетевых дросселей и обращения инвертора на сторону переменного тока. Программное обеспечение системы управления реализовано на основе описанной выше модели в среде Matlab/Simulink (см. рис. 1).

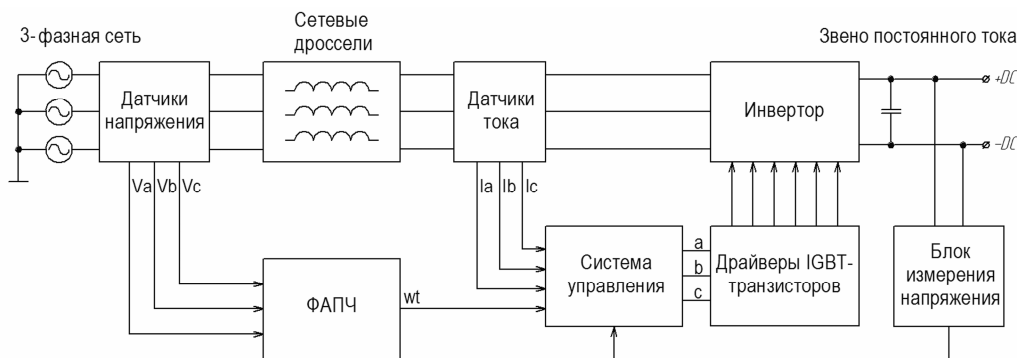


Рис. 2. Структурная схема АВН

На рис. 3 приведены осциллограммы сетевого напряжения и токов одной из фаз, при работе макета выпрямителя на активную нагрузку, ток нагрузки составляет 63 А, напряжение на звене постоянного тока 600 В. Суммарный коэффициент гармонических искажений на уровне 4 %, при искажении сетевого напряжения на уровне 2,3 %, коэффициент мощности на уровне 0,99.

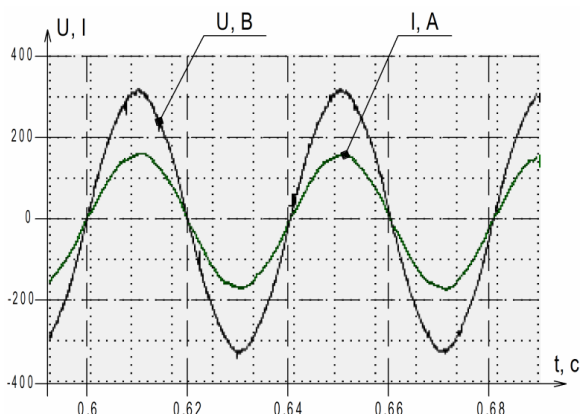


Рис. 3. Осциллограмма напряжения и тока фазы сети

По результатам испытаний макета АВН в составе частотного преобразователя, нагруженного на асинхронный двигатель, выявлено влияние гармонических искажений сетевого напряжения на форму входного тока выпрямителя. Испытания производились при различных значениях коэффициента гармонических искажений сетевого напряжения (характер зависимости представлен на рис. 6, график «Зависимость без компенсатора»).

Значения токов и напряжений АВН при испытаниях: напряжение на звене постоянного тока 600 В, ток нагрузки 63 А, частота ШИМ 10 кГц, индуктивность сетевых дросселей 1,3 мГн.

Для уменьшения влияния искажений сети на форму входного тока применен метод компенсации искажений, основанный на корректировке амплитуды выходного вектора напряжения, формируемого активным выпрямителем. Выходной обобщенный вектор напряжения корректируется таким образом, чтобы компенсировать отклонение входного тока от синусоидальной формы. Модель системы управления активным выпрямителем с встроенным компенсатором выходного вектора напряжения представлена на рис. 4.

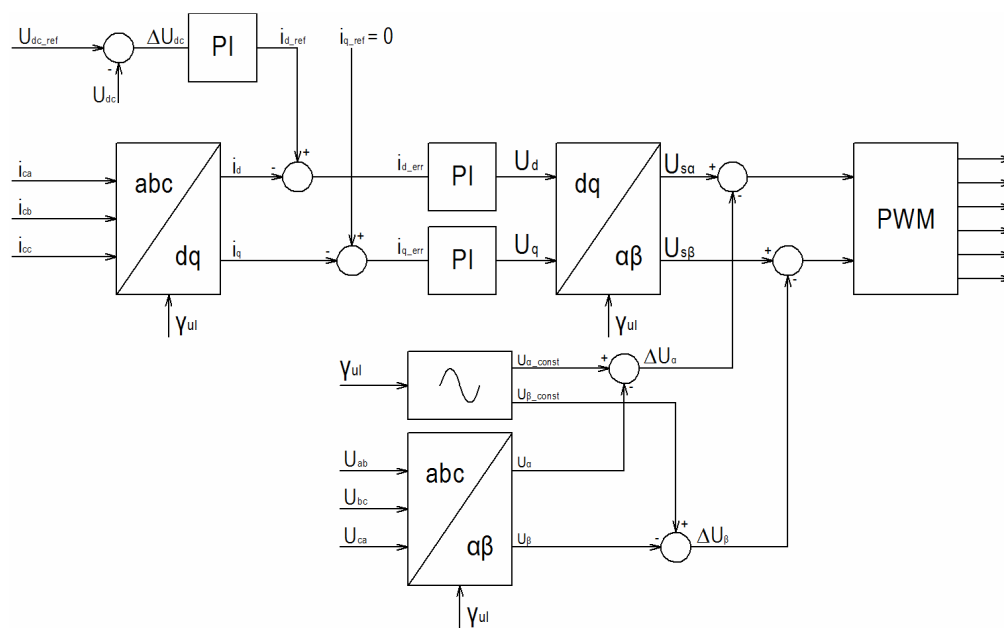


Рис. 4. Модель активного выпрямителя с компенсатором вектора напряжения

Результаты моделирования активного выпрямителя с компенсатором вектора напряжения представлены на рис. 5. На графике показаны зависимости искажений тока от искажений напряжения при включенном и выключенном компенсаторе. По результатам, отображенным на графике, видно, что включение компенсатора уменьшает зависимость входного тока выпрямителя от искажений сети.

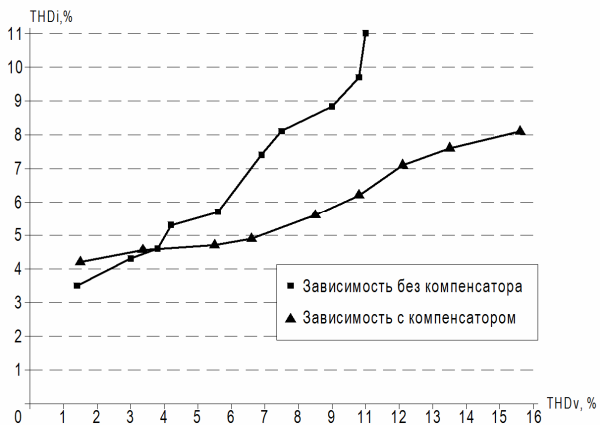


Рис. 5. Зависимость коэффициента искажений тока (THDi) от искажения сетевого напряжения (THDv) при работе модели

Результаты работы макета с компенсатором представлены на рис. 6. В отличие от модели, при работе макета зафиксирован ограниченный диапазон гармонических искажений сети – в пределах от 2 до 11 %.

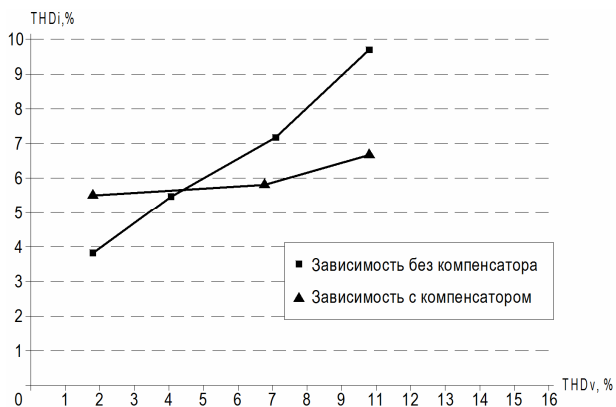


Рис. 6. Зависимость коэффициента искажений тока (THDi) от искажения сетевого напряжения (THDv) при работе макета

Исследование макета активного выпрямителя с компенсатором выходного вектора напряжения подтверждает результаты моделирования при уровне сетевых искажений более 5 %. В области сетевых искажений менее 5 % компенсатор оказывает отрицательное влияние на искажения входного тока, увеличивая THD тока до 5,6 %.

Несимметричность сетевого напряжения также приводит к появлению низкочастотных гармоник во входном токе активного выпрямителя. При испытании макета АВН наблюдались различные значения

фазных токов, что сказывалось на качестве работы системы управления АВН. При работе АВН без нагрузки измеренные токи i_{ca} , i_{cb} , i_{cc} (см. рис. 1) отличны от нулевых значений. Введение корректировки путем задания постоянной величины смещения тока по каждой фазе оказало положительный эффект на качество работы системы управления АВН, снизив уровень низкочастотных гармоник во входном токе выпрямителя. На рис. 7 показана гистограмма, отражающая степень снижения коэффициента THD тока по каждой фазе в макете АВН при введении корректировки смещения токов. Испытания производились при работе АВН на активную нагрузку.

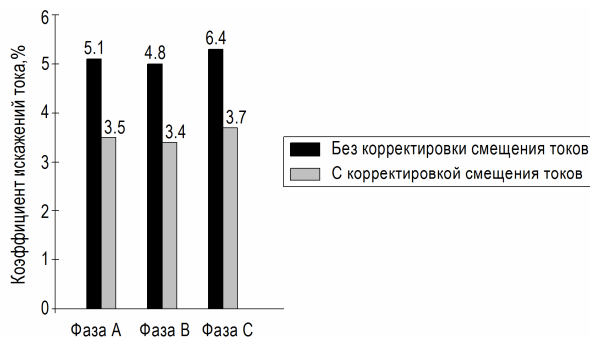


Рис. 7. Корректировка смещения токов в макете АВН

На рис. 8 приведены осциллограммы одной фазы сетевого напряжения и соответствующего ей тока при работе макета АВН в составе частотного преобразователя, нагруженного на асинхронный двигатель. Ток нагрузки составляет 63 А, напряжение на звене постоянного тока 600 В, частота ШИМ 10 кГц. Измеренные параметры сети в каждой фазе представлены в таблице.

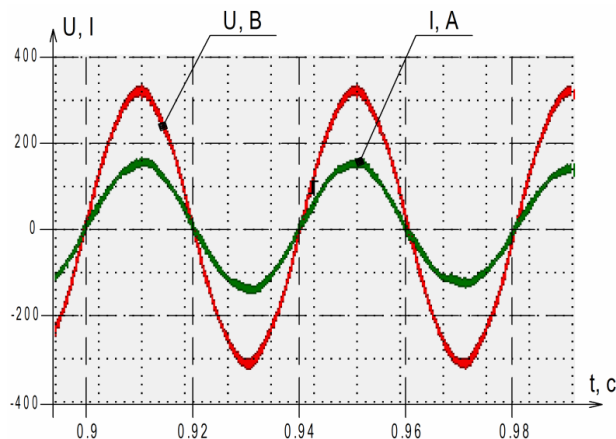


Рис. 8. Осциллограмма токов и напряжений при работе макета АВН в составе частотного преобразователя

Значения параметров сети

Фаза	Ток, А	THD напряжения, %	THD тока, %	Коэффициент мощности
Фаза А	62,3	1,8	4,3	0,99
Фаза В	61,6	2,0	4,6	0,98
Фаза С	62,7	2,3	4,8	0,99

Внедрение активного выпрямителя напряжения в состав частотных преобразователей позволило существенно повысить энергоэффективность станций управления погружными электродвигателями за счет поддержания заданного коэффициента мощности и снижения коэффициента гармонических искажений тока. Дополнительным преимуществом АВН является возможность рекуперации энергии в сеть. Макетные испытания позволили исследовать работу АВН в различных режимах, а также установить, что активный выпрямитель работает в соответствии с требованиями стандартов [4, 5] по ограничениям на допустимое содержание гармонических искажений в сетевом напряжении и потребляемом токе. Дальнейшие исследования направлены на изучение работы макета активного выпрямителя в рекуперативном режиме работы, а также на расширение диапазона номинальных мощностей активного выпрямителя напряжения.

Получено 28.08.2017

Библиографические ссылки

1. Активные выпрямители как универсальное средство повышения качества электроэнергии в системах электропитания буровых установок с частотно регулируемым электроприводом / Б. И. Абрамов, А. И. Коган, В. М. Пономарев [и др.] // Труды IX Междунар. (XX Всерос.) науч.-техн. конф. по автоматизированному электроприводу «АЭП-2016». – Пермь : Изд-во ПНИПУ, 2016. – С. 372–376.
2. Борисов П. А., Поляков Н. А. Синхронизация трехфазных активных выпрямителей напряжения с питающей сетью // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2012. – № 4. – С. 55–60.
3. Виноградов А. Б. Векторное управление электроприводами переменного тока. – Иваново : Изд-во Иванов. гос. энергет. ун-та им. В. И. Ленина, 2008. – 298 с.
4. ГОСТ №32144-2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электропитания общего назначения.
5. IEEE Std 519-1992. IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electric Power Systems / Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., 1993.